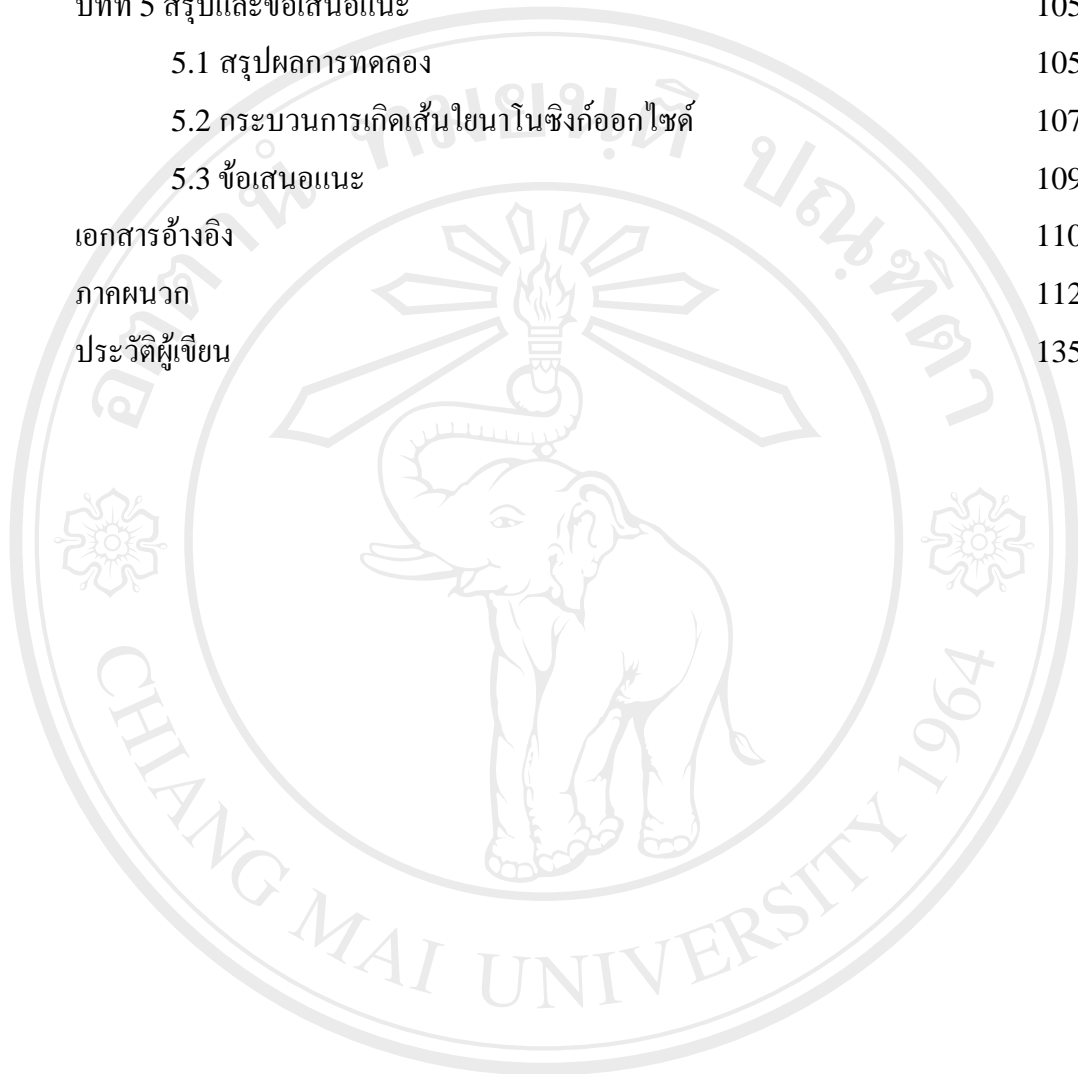


สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และเหตุผล	5
2.1 ชิงก์ออกไซด์	5
2.2 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนาโน	7
2.3 โครงสร้างนาโน มิติ และผลเนื่องจากขนาด	8
2.4 การสร้างตัวของเส้นใยนาโน	15
2.5 วิธีการสังเคราะห์เส้นใยนาโน	19
2.6 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง	23
บทที่ 3 การทดลอง	34
3.1 การตกตะกอนด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้า	34
3.2 การระเหิดด้วยวิธีการโบทอร์มอล	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง	45
4.1 ผลที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใยนาโนชิงก์ออกไซด์โดย วิธีการตกตะกอนด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้า	45
4.2 สรุปเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนชิงก์ ออกไซด์โดยวิธีการตกตะกอนด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้า	78
4.3 ผลที่ได้จากการสังเคราะห์เส้นใยนาโนชิงก์ออกไซด์โดย วิธีการระเหิดด้วยวิธีการโบทอร์มอล	79
4.4 สรุปเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนชิงก์ ออกไซด์โดยวิธีการระเหิดด้วยวิธีการโบทอร์มอล	100
4.5 การตรวจสอบหาสารประกอบและ โครงสร้างผลึกของเส้น ใยนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค XRD	101

	หน้า
บทที่ 5 สรุปลและข้อเสนอแนะ	105
5.1 สรุปลผลการทดลอง	105
5.2 กระบวนการเกิดเส้นใยนาโนซิงก์ออกไซด์	107
5.3 ข้อเสนอแนะ	109
เอกสารอ้างอิง	110
ภาคผนวก	112
ประวัติผู้เขียน	135



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงทิศทางที่อิเล็กตรอนนำถูกจำกัดเขต และไม่ถูกจำกัดเขตของโครงสร้างระดับนาโน	10
2.2 แสดงสมบัติของโคออร์ดิเนตและ k space ทั้งสามมิติ	11
2.3 แสดงจำนวนอิเล็กตรอน N และ ความหนาแน่นสถานะ $D(E) = \frac{dN(E)}{dE}$ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของพลังงานของอิเล็กตรอนนำที่เคลื่อนที่ได้ใน 1, 2 และ 3 มิติ	12
4.1 แสดงอัตรการให้กำลังกระแสไฟฟ้า	46
4.2 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.1 (ค)	47
4.3 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.2 (ค)	48
4.4 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.3 (ค)	50
4.5 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.4 (ค)	52
4.6 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.5 (ค)	53
4.7 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.6 (ค)	55
4.8 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.7 (ค)	56
4.9 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.9 (ข)	60
4.10 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.10 (ค)	61
4.11 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.11 (ข)	62
4.12 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.12 (ค)	64
4.13 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.13 (ค)	65
4.14 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.14 (ค)	66
4.15 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.15 (ข)	68
4.16 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.16 (ข)	70
4.17 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.17 (ค)	72
4.18 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปที่ 4.18 (ค)	74

ตาราง	หน้า
4.19 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.19 (ค)	76
4.20 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.20 (ค)	77
4.21 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.21 (ค)	80
4.22 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.21 (จ)	80
4.23 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.24 (ค)	85
4.24 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.25 (ค)	87
4.25 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.25 (จ)	87
4.26 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.26 (ข)	89
4.27 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.26 (ฉ)	90
4.28 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.27 (ค)	92
4.29 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.28 (ค)	94
4.30 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.29 (ค)	96
4.31 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.29 (จ)	97
4.32 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบของเส้นใยนาโนในรูปแบบที่ 4.30 (ค)	99
4.33 แสดงค่ามุม 2θ (deg) กับค่า h k l ของข้อมูลมาตรฐาน JCPDS – PDF เลขที่ 79-2205> ZnO-Zinc Oxide ที่ตรงกับผลการทดลองที่ได้	102
4.34 แสดงค่ามุม 2θ (deg) กับค่า h k l ของข้อมูลมาตรฐาน JCPDS – PDF เลขที่ 87-0713> Zinc ที่ตรงกับผลการทดลองที่ได้	103

สารบัญภาพ

รูป	หน้า	
2.1	โครงสร้างของ ZnO	5
2.2	โครงสร้างนาโนของซิงค์ออกไซด์	7
2.3	การเปรียบเทียบพื้นที่ผิวที่ห่อหุ้มลูกบาศก์กับเส้นใยนาโนเมื่อปริมาตรเท่ากัน	7
2.4	โครงสร้างระดับนาโนที่มีรูปร่างแบบเหลี่ยม	8
2.5	โครงสร้างระดับนาโนที่มีรูปร่างแบบโค้ง	9
2.6	จำนวนอิเล็กตรอนซึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงาน E เทียบกับค่าพลังงานสำหรับอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งมิติ สองมิติ และสามมิติ	12
2.7	ความหนาแน่นสถานะเทียบกับค่าพลังงานสำหรับอิเล็กตรอนนำที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งมิติ สองมิติ และสามมิติ	13
2.8	กลไกการสร้างตัวของเส้นใยนาโนแบบ VLS	16
2.9	แสดงกลไกการสร้างตัวของเส้นใยนาโนแบบ VS	17
2.10	ภาพถ่าย TEM ของลำดับการเกิดเส้นใยนาโนซิลิกอน	18
2.11	แผนภาพการเกิดกลไก Oxide-assisted growth	18
2.12	แผนภาพการตกสะสมของไอเคมี	19
2.13	แผนภาพการระเหยด้วยเลเซอร์	19
2.14	แม่แบบ Polycarbonate ที่เกิดจากวิธี “track – etch”	20
2.15	แม่แบบอะลูมินา porous alumina	21
2.16	(ก) แสดงท่อนาโน และ (ค) แสดงเส้นใยนาโน ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีใช้แม่แบบ	21
2.17	แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ในเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า	22
2.18	องค์ประกอบของกล่องอิเล็กตรอน	23
2.19	ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอะตอมของสารตัวอย่างกับอิเล็กตรอน	24
2.20	ภาพถ่ายจาก SEM ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า	25
2.21	สเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสาร โดยเทคนิค EDS	27
2.22	แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยเทคนิค EDS	28
2.23	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IL	29
2.24	แผนผังแสดงการเลี้ยวเบนผ่านระนาบผลึกของรังสีเอ็กซ์	30
2.25	หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	31

รูป	หน้า
2.26 การเกิดรังสีเอ็กซ์	31
2.27 แสดงลำดับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD	32
2.28 แสดงลำดับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ในเชิงปริมาณ	33
2.29 ลำดับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD	33
3.1 เบื้องต้น	40
3.2 แต่งสารตั้งต้นแบบไม่ขัดผิวหน้า	40
3.3 แต่งสารตั้งต้นที่ขัดผิวหน้า	40
3.4 แสดงเครื่องเคลือบทอง (gold sputtering)	41
3.5 แผ่นรองรับที่ได้จากการเคลือบด้วยทอง	41
3.6 แผ่นรองรับที่ได้จากการเผา	41
3.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	42
3.8 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อน	42
3.9 การต่ออุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอุปกรณ์การให้ความร้อน	43
3.10 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาโดยกระบวนการตกสะสมด้วยการเผาด้วยกระแสไฟฟ้า	43
3.11 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมที่วัดอุณหภูมิ	43
3.12 อุปกรณ์ให้ความร้อนในการระเหิดด้วยวิธีคาร์โบเทอร์มอล	44
3.13 การต่ออุปกรณ์การระเหิดด้วยวิธีคาร์โบเทอร์มอล	44
3.14 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการระเหิดด้วยวิธีคาร์โบเทอร์มอล	44
4.1 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.1(1)	46
4.2 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.1(2)	48
4.3 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.1(3)	49
4.4 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.2(1)	51
4.5 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.2(2)	52

รูป	หน้า
4.6 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่	54
4.7 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.2(4)	55
4.8 (ก) ความหนาของฟิล์มทองก่อนให้ความร้อนวัดด้วยเทคนิค AFM (ข) และ (ค) ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคนาโนของทองหลังให้ความร้อน (ง) แสดงความหนาของอนุภาคทองหลังการให้ความร้อนวัดด้วยเทคนิค AFM	57
4.9 (ก) ภาพถ่าย SEM (ข) และ (ค) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.3(2)	59
4.10 ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.3(3)	60
4.11 (ก) ภาพถ่าย SEM (ข) และ (ค) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.3(4)	62
4.12 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.3(5)	63
4.13 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.3(6)	64
4.14 ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.3(7)	66
4.15 (ก) ภาพถ่าย SEM (ข) และ (ค) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (ง) เส้นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.4(1)	68
4.16 (ก) ภาพถ่าย SEM (ข) และ (ค) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (ง) เส้นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.4(2)	70
4.17 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (จ) เส้นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.1.4(3)	72

รูป	หน้า
4.29 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) (ง) (จ) และ (ฉ) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (ช) เส้นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.3.2(5)	96
4.30 (ก) และ (ข) ภาพถ่าย SEM (ค) และ (ง) กราฟวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (จ) เส้นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยเทคนิค IL ของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองชุดที่ 4.3.2(6)	98
4.31 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	101
4.32 แสดงผลที่ได้จากการเทียบข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS – PDF) ของซิงก์ออกไซด์	102
4.33 แสดงผลที่ได้จากการเทียบข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS – PDF) ของสังกะสี	103